

Fernbedienbare Vakuum-Flanschverbindungen
Remotely Handled Vacuum Flange Connections

C. Andelfinger, M. Ulrich, G. Weber

IPP 1/206

April 1982

Reprint of ZEPHYR-Report No. 33 of August 1980.



MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

8046 GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK
GARCHING BEI MÜNCHEN

Fernbedienbare Vakuum-Flanschverbindungen
Remotely Handled Vacuum Flange Connections

C. Andelfinger, M. Ulrich, G. Weber

IPP 1/206

April 1982

Reprint of ZEPHYR-Report No. 33 of August 1980.

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

Abstract

During the design of ZEPHYR, a fusion experiment for ignition and burn control, remotely handled high vacuum flanges were developed. The main features are:

- The tightening forces are transmitted via conically shaped flanges by a clamping chain, specially formed for small friction;
- the clamping forces are produced by one or two screws to minimize the positioning of remotely controlled manipulators;
- The arrangement is such that the flanges become completely free for axial removal, combined with exact axial alignment;
- the sealing areas are deepened so that scratching is avoided;
- the flange connection is suitable for elastomer and aluminium seals in a temperature range of 80 to 430° K.

Up to now flanges with inner diameter of 100 to 650 mm have been successfully tested, larger flanges are under preparation.

1. Einleitung

In Anlagen, in denen der Aufenthalt durch Personen wegen der dort herrschenden Radioaktivität zeitlich begrenzt oder ganz ausgeschlossen ist, müssen Montage- und Wartungsarbeiten fernbedient durchführbar sein. Dies gilt auch für Fusionsexperimente, die mit DT-Füllung arbeiten, wie JET, TFTR und ZEPHYR. Lösbare Vakuumverbindungen spielen eine große Rolle im Vakuumsystem, in der Zusatzheizung mit Neutralinjektion und insbesondere in der Diagnostik. Es besteht daher das Bedürfnis nach einfachen und sicher zu handhabenden Verbindungen in einer Vielfalt von Nennweiten.

Die Bedingungen, die an ein System für ZEPHYR gestellt werden, sind:

- die Flanschverbindung muß beim Lösen den vollen Querschnitt der Flansche freigeben, damit die beiden Flansche axial frei beweglich sind;
- sie muß ausheizbar bis 150° C sein;
- sie muß für Tritium kompatibel sein, z. B. mit Aluminium-Spießkantendichtung;
- sie soll mit 1 Manipulatorarm allein bedienbar sein;
- sie muß ein exaktes axiales Zusammenfahren ermöglichen;
- sie muß in jeder Einbaulage verwendet werden können;
- die Dichtflächen müssen so gestaltet sein, daß ein Zerkratzen bei der fernbedienten Handhabung ausgeschlossen ist;
- sie muß aus antimagnetischem Material herstellbar sein;

- sie muß selbst wartungsfrei bzw. leicht auswechselbar sein.

Kritische Teile, wie z.B. der Spannbolzen, müssen so überdimensioniert werden, daß hier kein Schaden passieren kann. Im übrigen ist bei der Konstruktion darauf zu achten, daß die ganze Anordnung mit den Mitteln der heißen Zellentechnik montierbar ist.

2. Beschreibung der Flanschverbindung

Spannketten-Flanschverbindungen sind an sich im Handel erhältlich. Ihre Nachteile sind, daß die Spannketten von Hand um die zu verbindenden Flansche gelegt werden müssen und sich bei gelöster Spannvorrichtung unter der Wirkung der Schwerkraft auf den Flansch auflegen, so daß diese nicht auseinander gefahren werden können. Damit sind sie für die Fernbedienung ungeeignet. Die hier beschriebene Verbindung ermöglicht ein Spreizen und Öffnen der Spannkette, so daß sie ohne Schwierigkeit axial über den anzuschließenden Flansch geschoben werden kann.

Anhand der Abb. 1 - 5 wird die Bauart und Wirkungsweise der Flanschverbindung erläutert. Abb. 1 zeigt eine axiale Draufsicht, wobei die Oberseite des Kettenkastens entfernt ist. Abb. 2 ist ein Radialschnitt im geschlossenen Zustand. Abb. 3 und 4 zeigen, wie an einer Stelle des Umfangs der Flanschverbindung die Spannkette gegen Verrutschen auf dem Umfang gesichert ist. Dies ist wichtig für die fernbediente Betätigung, weil dann die Kette so ausgerichtet wird, daß der Spannbolzen in eine günstige reproduzierbare Position für den Manipulator gebracht werden kann. Abb. 2 und 5 zeigen zwei Varianten für geeignete Zentriervorrichtungen.

Die in der Zeichnung dargestellte Flanschverbindungsanordnung enthält eine Spannkettengliederkette 10, die eine Reihe von Spannrollen 12 und Kettenglieder in Form von Laschen 14 enthält. Die Spannrollen 12 haben eine garnspulenartige Form (s. Fig. 2) und sind mit Lagerbolzen 16 versehen, die auf beiden Seiten über die Laschen 14 gelenkig miteinander verbunden sind.

Die Spannrollenkette 10 ist in einem Kettenkasten 18 untergebracht, der einen im wesentlichen U-förmigen Querschnitt hat und nach innen offen ist (Fig. 2). Auf der radial äußeren Seite der Spannrollenkette 10 ist ein Federelement in Form einer Blattfeder 20 angeordnet. Die Blattfeder 20 ist mit den Laschen 14 der Kettenglieder über U-förmige Bügel so gekoppelt, daß einerseits ein Einknicken der Spannrollenkette beim Auseinanderspreizen ihrer Enden verhindert wird, die Spannrollenkette andererseits um den Umfang zweier zu verbindender Flansche 24, 26 (Fig. 2) gespannt werden kann.

Das Zusammenspannen und Öffnen der Spannrollenkette erfolgt mittels einer Spannvorrichtung, die eine Spanschraube 28 enthält, welche einerseits in einem Lagerblock 30, der durch den mittleren Teil einer Spannrolle 12' am einen Ende der Spannrollenkette 10 gebildet wird, drehbar gelagert und durch einen Sprengring 32 axial gesichert ist. Andererseits ist die Spanschraube 28 mit einem Gewindeteil 28 a in einen Gewindeblock 34 eingeschraubt, der durch den mittleren Teil einer Spannrolle 12'' am anderen Ende der Spannrollenkette gebildet wird. Durch Drehen der Spanschraube 28 können also die Enden der Spannrollenkette zusammengespannt oder auseinander gespreizt werden, wobei sich der Durchmesser der Spannrollenkette verkleinert bzw. vergrößert. Die zusammengespannte Stellung, in der die Spannrollenkette ihren kleineren Durchmesser hat, ist in Fig. 1 mit ausgezogenen Linien und in Fig. 2 dargestellt; die auseinandergespreizte, geöffnete Stellung der Spannrollenkette ist in Fig. 1 gestrichelt dargestellt.

Die Spanschraube 28 erstreckt sich durch zwei Löcher 36 und 38 in der Umfangswand des Kettenkastens 18 nach außen. Die Löcher sind so bemessen, daß die Spanschraube 28 entsprechend der Änderung des Durchmessers der Spannrollenkette beim Öffnen bzw. Schließen schwenken kann.

Damit die Durchmesseränderungen der Spannrollenkette 10 beim Öffnen bzw. Schließen

der FlanschverbindungsVorrichtung durch die Blattfeder 20 nicht behindert wird, ist letztere lose in die an den Laschen 14 angeordneten Bügel 22 eingelegt, mit Ausnahme von einem Bügel 22, an dem die Blattfeder befestigt ist, um ihre mittlere Lage bezüglich der Spannrollenkette zu fixieren. Vorzugsweise erfolgt die Befestigung an einem in Fig. 1 nicht sichtbaren Bügel, der den freien Enden der Blattfeder diametral gegenüber liegt. Die Blattfeder 20 strebt also dazu, den Durchmesser der Spannrollenkette möglichst groß zu halten. Die Blattfeder 20 ist in der Nähe ihrer in Fig. 1 sichtbaren Enden mit Längsschlitz versehen, durch die sich die Spannschraube 28 erstreckt.

Der eine Flansch 24 kann mit dem Kettenkasten 18 verbunden sein, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Der andere, bewegliche Flansch 26 ist mit einer Zentrierscheibe 42 verbunden, welche eine Reihe von axialen Löchern 44 aufweist, welche mit Führungsbolzen 46 zusammenwirken, die an der dem stationären Flansch 24 abgewandten Seitenwand des Kettenkastens 18 angebracht sind. Die Zentrierscheibe gewährleistet zusammen mit den spitz zulaufenden Führungsbolzen 46 eine einwandfreie Zentrierung der zu verbindenden Flansche 24 und 26.

Fig. 5 zeigt eine andere, vorteilhafte Zentriervorrichtung für den beweglichen Flansch. Die Zentrierung erfolgt hier durch eine zur Flanschachse schräge, konische Fläche 46', die z.B. durch Andrehen des Kettenkastens 18' gebildet ist, und durch eine konische Ausdrehung 44' einer mit dem beweglichen Flansch verbundenen Zentrierscheibe 42'. Die Zentrierscheibe 42' bildet also eine ringförmige, sich zur offenen Seite hin etwas erweiternde Vertiefung, die komplementär zu der ihr zugewandeten, die schräge Fläche 46' enthaltenden Seite des Kettenkastens geformt ist. Sowohl die Fläche 46' als auch die Fläche 44' können, wie dargestellt, aus zwei Bereichen unterschiedlichen Kegelwinkels bestehen, um die Zentrierung zu erleichtern.

Wenn die Enden der Spannrollenkette 10 durch die Spannschraube 28 voreinander entfernt werden, öffnet sich die Spannrollenkette gleichmäßig und legt sich schließlich mit den Bügeln 22 längs ihrer ganzen Länge an der Außenwand des Kettenkastens 18 an.

Die Flanschverbindungs­vorrichtung kann für Flansche beliebigen Nenndurchmessers konstruiert werden, besondere Vorteile ergeben sich bei großen Nenndurchmessern, z. B. 400 mm und mehr. Die vorliegende Flanschverbindungs­vorrichtung eignet sich besonders gut für eine Betätigung durch Fernbedienungs­einrichtungen wie Manipulatoren oder Servomotoren.

Die Spannkette kann auch aus antimagnetischen Werkstoffen gefertigt werden, wie Messing und/oder unmagnetischem, nichtrostendem Stahl, und vermag auch in einer solchen Ausführung eine Spannkraft zu erzeugen, die für eine Abdichtung von Hoch­vakuum- und Vorvakuumverbindungen geeignet ist.

Die Dichtflächen sind entsprechend Abb. 2 in Nuten versenkt, so daß sie gegen Verkratzen geschützt sind. Für den Tritiumbetrieb sind Aluminium-Spießkantendichtungen 48 zylinderischer Bauart mit Spießkanten in den Stirnflächen vorgesehen. Der Ein­stich ist tief genug, so daß der Dichtungsring bei geringer Deformation von der Kreis­form gut sitzt und beim fernbedienten Transport nicht herausfallen kann. Die Dichtun­gen werden aus Plattenmaterial (Al 99.5 F 10) geschnitten, gerollt, zusammengesweißt und dann in einer Vorrichtung die Spießkanten angedreht. Der fertige Dichtungsring wird weichgeglüht.

Die Photographie zeigt die Flanschverbindung in NW 400 mit einseitig geöffnetem Kettenkasten.

Dimensionierung der Spannkettensysteme

| Nennweite | Spannkraft | Spannkette | Spannkette | Spannkette | Spannkette | Spannkette | Spannkette | Spannkette |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| NW 100 | 3200 | 10 | 34 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 200 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 300 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 400 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 500 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 600 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 800 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |
| NW 1000 | 3200 | 10 | 40 | 40 | 24 | 8 | 134 | 408 |

3. Durchgeführte Tests

3.1 Bestimmung der axialen Druckkräfte

Da die auftretenden Reibungskräfte schwer zu erfassen sind, wurde nachstehendes Verfahren zur Bestimmung der axial erzielten Druckkräfte angewandt. Zwischen die Flansche wurde ein Aluminiumring und über den Umfang gleichmäßig verteilte Stahlkugeln gelegt. Aus dem Eindruck der Kugeln und der separat bestimmten Brinellhärte kann die axiale Druckkraft F bestimmt werden zu

$$F = \frac{HB \cdot \pi}{2} \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Hierbei ist F in kp, HB die Brinellhärte in kp/mm^2 , D der Kugeldurchmesser und d der Durchmesser des Kugeleindrucks.

Der Versuch wurde an einem Flansch mit NW 400 durchgeführt. Die Versuchsdaten waren: $HB = 22,3 \text{ kp/mm}^2$, $D = 4 \text{ mm}$, $d = 2,7 \text{ mm}$, Kugelabstand $s = 16 \text{ mm}$, Kugelzahl $n = 80$, Al-Blechdicke $h = 3 \text{ mm}$, Drehmoment am Spannbolzen $M = 5 \text{ m kp}$. Dabei ergab sich eine axiale Druckkraft von 11 775 kp bzw. 9,2 kp/mm Dichtungslänge. Dies ist ausreichend für eine genügende Deformation von Aluminium-Spießkantendichtungen

Nachstehende Tabelle enthält die daraus abgeleiteten Daten für Spannrollenketten verschiedener Nennweiten in einer nichtmagnetischen Ausführung.

Tabelle 1

Dimensionierung der Spannrollenketten

| | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| NW | 100 | 400 | 650 | 650 | 1000 |
| Dichtung \varnothing mm | 110 | 408 | 659 | 659 | 1010 |
| Flansch außen \varnothing mm | 134 | 438 | 700 | 700 | 1050 |
| Rollenzahl | 8 | 24 | 26 | 24 | 36 |
| Rollen \varnothing mm | 34 | 40 | 40 | 50 | 50 |
| Spannbolzen \varnothing mm | 10 | 10 | 10 | 16 | 16 |
| Dichtungskraft kp/mm | 37,6 | 10,1 | 6,3 | 16,7 | 10,9 |
| Kettzugkraft kp | 3200 | 3200 | 3200 | 8500 | 8500 |
| Drehmoment m kp | 5 | 5 | 5 | 12,8 | 12,8 |

3.2 Lecktests mit Heizen und Kühlen

Bei den Betriebsverhältnissen von ZEPHYR ist mit zweierlei Temperaturbeanspruchungen zu rechnen. Zum einen wird zu Beginn die gesamte Vakuumpappatur auf ca. 150°C ausgeheizt werden, zum anderen wird während der Betriebsphase der Torus auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffes abgekühlt. Insbesondere bei letzterem ist mit beträchtlichen Temperaturgradienten über der Flanschverbindung zu rechnen. Die stark unterschiedliche Wärmeleitung der verwendeten Materialien führt zu zeitlichen Verschiebungen der Längenänderungen der diversen Bauteile und zu Veränderungen der Kettzugkraft. Es ist vorgesehen, und in einem Versuch auch schon erprobt, durch das Zwischenschalten von Tellerfeder-Paketen in dem Spannglied solche Änderungen der Kettzugkraft aufzufangen. Es bleibt ein reibungsbedingter Hystereseverlauf in der Gesamtanordnung.

Der Heizversuch auf 150°C wurde mit der größten derzeit zur Verfügung stehenden Flanschverbindung NW 650 durchgeführt. Bei dem Heiz- und Kühlzyklus ($150^{\circ} - 20^{\circ}\text{C}$) blieb die Verbindung stets dicht mit Leckraten, die kleiner 10^{-10} mb l/s sind.

Bei dem einseitigen Abkühlen auf ca. 80°K mit fl. N_2 reduzierte sich das angewendete Drehmoment von 5 mkp auf 4,5 mkp beim Abkühlen und weiter auf 3,6 mkp beim anschließenden Erwärmen auf Zimmertemperatur. Die Verbindung blieb jedoch dicht allein durch den Anpressdruck der äußeren Atmosphäre (3300 kp), d.h. bei geöffneter Spannkette.

Der gleiche Versuch wurde auch mit NW 100 durchgeführt, bei dem die Kraft durch äußeren Überdruck praktisch zu vernachlässigen ist. Hierbei erniedrigte sich ein ursprünglich eingestelltes Drehmoment von 2 mkp auf 1,2 mkp bei der tiefsten Temperatur und weiter auf 0,65 mkp beim Aufwärmen auf Zimmertemperatur. Auch hierbei konnte keine Undichtigkeit festgestellt werden.

Schlußfolgerung

Die vorgestellte Flanschverbindung erwies sich als geeignet für fernbediente Vakuumverbindungen, obwohl die praktische Handhabung erst nach Einrichtung des Fernbedienungs-technikums im IPP voll getestet werden kann. Für die Anwendung in Apparaturen mit

Remotely Handled Vacuum Flange Connections

C. Andelfinger, M. Ulrich, G. Weber

1. Introduction

Devices in which personnel can only stay for a limited time or even not at all owing to the radioactivity present must allow installation and maintenance work by remote handling. This also applies to fusion experiments with DT fillings, such as JET, TFTR and ZEPHYR. Detachable vacuum connections play a major role in the vacuum system, in the additional heating with neutral injection and, in particular, in diagnostics. There is therefore a need for simple and easily handled connections in a variety of nominal diameters.

The conditions to be imposed on a flange connection system for ZEPHYR are:

- it must expose the full cross-section of the flanges when detached, so that the two flanges have freedom of motion in the axial direction;
- it must be bakeable to 150° C;
- it must be compatible for tritium, e.g. aluminium seal with ridge profile;
- it must allow handling with a single manipulator arm;
- it must allow exact axial alignment;
- it must allow installation in any position;
- the sealing surfaces must be such as to exclude scratching in remote handling;
- it must be producible from antimagnetic material;
- it must be maintenance-free or easy to replace.

Critical components, e.g. the clamping rod, have to be overdimensioned to prevent damage. Furthermore, the design should ensure that the whole arrangement can be installed by means of the hot cell technique.

2. Description of Flange Connection

Clamping chain flange connections are actually commercially available. The disad-

advantage of these is that the clamping chains have to be placed by hand around the flanges being connected and, when the clamping facility is loosened, rest on the flanges as a result of gravity, thus preventing the flanges from being separated from one another. Such connections are thus unsuitable for remote handling. The type described here allows the clamping chain to be relaxed and opened up so that it can readily be lifted axially over the flange to be connected.

The design and operation of the flange connection are explained in Figs. 1 - 5.

Fig. 1 shows an axial view from above, the top side of the chain case being removed.

Fig. 2 shows a radial section in the closed state.

Figs. 3 and 4 show how a slot in the circumference of the flange connection prevents the clamping chain from slipping. This is important for remote handling because the chain can then be placed to put the clamping rod in a favourable, reproducible position for the manipulator.

Figs. 2 and 5 show two versions of suitable centering facilities.

The flange connection shown in the drawing contains a clamping chain 10, which is composed of a series of clamping rollers 12 and chain links in the form of fish plates 14. The clamping rollers 12 are in the form of thread reels (see Fig. 2) fitted with bearing bolts 16 which are jointed on both sides by means of fish plates 14.

The clamping chain 10 is accommodated in a chain case 18, which has an essentially U-shaped cross-section and is open to the inside (Fig. 2). The clamping chain 10 is provided on the radially outer side with a spring element in the form of a leaf spring 20. The leaf spring 20 is coupled with the fish plates of the chain links by means of U-shaped brackets in such a way that, on the one hand, the clamping chain does not sag inwards when it is relaxed, and, on the other, the clamping chain can be mounted around the circumference of two flanges 24 and 26 to be connected (Fig. 2).

Tensioning and relaxation of the clamping chain is effected by means of a clamping facility containing a clamping rod 28, which, on the one hand, rotates in a bearing block 30, which is formed from the middle part of a clamping roller 12^a at the one end of the clamping chain 10, and is axially secured by a circlip 32. On the other hand, the clamping rod 28

is provided with a threaded part 28a screwed into a threaded block 34, which is formed by the middle part of a clamping roller 12" at the other end of the clamping chain. The clamping rod 28 can be turned to tension or relax the clamping chain, thus decreasing or increasing the diameter of the clamping chain. Then tensioned, the clamping chain has its smaller diameter, as shown in Fig. 1 with solid lines; the open setting of the clamping chain is shown in Fig. 1 with dashed lines.

The clamping rod 28 extends outwards through two holes 36 and 38 in the outer wall of the chain case 18. The size of the holes is such that the clamping rod 28 can swing in keeping with the variation of the diameter of the clamping chain when it is open or closed.

To prevent the variation of the diameter of the clamping chain 10 from being obstructed by the leaf spring 20, when the flange connection is opened or closed the spring is placed loosely in the brackets 22, which are rivetted to the fish plate 14, except for one clip 22, to which the leaf spring is attached in order to fix its position in the center relative to the clamping chain. Preferably the leaf spring should be attached to a clip, not visible in Fig. 1, which is diametrically opposite to the free ends of the leaf spring. The leaf spring 20 thus strives to keep the diameter of the clamping chain as large as possible. In the vicinity of its ends, visible in Fig. 1, the leaf spring 20 is provided with longitudinal slits through which the clamping rod 28 projects.

The one flange 24 can be connected with the chain case 18, as shown in Fig. 2. The other, moveable flange 26 is connected with a centering disc 42, which is perforated by a row of axial holes 44. These interact with guide rods 46, which are attached to the side wall of the chain case 18 facing away from the stationary flange 24. Together with the tapering guide rods 46 the centering disc ensures perfect centering of flanges 24 and 26 to be connected.

Figure 5 shows another advantageous centering facility for the moveable flange. Centering is performed here with a conical surface 46' oblique to the flange axis, which is formed, for example, by turning the chain case 18', and with a conical recess 44' in a centering

disc 42' connected with the moveable flange. The centering disc 42' thus forms a ring-shaped depression, slightly widening towards the open side, which is of a shape complementary to the side of the chain case facing it that contains the oblique surface 46'. Both the surface 46' and the surface 44' can, as shown, consist of two regions with different cone angles to facilitate centering.

When the ends of the clamping chain 10 are separated from one another by the clamping rod 28, the clamping chain uniformly opens and finally, together with the brackets 22, rests its whole length along the outer wall of the chain case 18.

The flange connection can be designed for flanges of arbitrary nominal diameter, special advantages accruing from large nominal diameters, i.e. 400 mm and more. The flange connection described here is particularly suitable for remote handling with facilities such as manipulators and servo motors.

The clamping chain can also be made from antimagnetic materials such as brass and/or non-magnetic stainless steel, such versions also being capable of generating a clamping force which is suitable for sealing high-vacuum and backing vacuum connections.

The sealing surfaces are recessed in grooves according to Fig. 2 to protect them against scratches. Aluminium seals 48 of cylindrical form with ridge profile in the end faces are provided for tritium operation. The recess is deep enough so that the seal ring fits well if slightly deformed from the circular shape and cannot drop out during remotely controlled transport. The gaskets are cut from plate material (AL 99.5 F 10), rolled and welded together, after which the ridges are milled. The finished gasket ring is soft-annealed.

The photograph shows the flange connection with a nominal diameter of 400 mm through the open chain case.

3. Tests Performed

3.1 Determination of Axial Compression Forces

As the friction forces exerted are difficult to determine, the following method of determining

the axially exerted compression forces was applied. An aluminium ring was inserted between the flanges and steel balls were evenly placed around the circumference. From the imprint of the balls and the separately determined Brinell hardness it is possible to determine the axial compression force F:

$$F = \frac{HB \cdot \pi}{2} \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Here F is in kp, HB is the Brinell hardness in kp/mm², D is the ball diameter and d is the diameter of the ball imprint.

The test was performed on a flange with a nominal diameter of 400 mm. The test data were: HB = 22.3 kp/mm², D = 4 mm, d = 2.7 mm, ball spacing s = 16 mm, number of balls n = 80, Al sheet thickness h = 3 mm, torque at clamping rod M = 5 m kp. This yielded an axial compression force of 11 775 kp or 9.2 kp/mm seal length. This is adequate for sufficient deformation of aluminium seals.

The following table contains the data derived from this for non-magnetic clamping chains for various nominal diameters.

Table 1

Dimensions of the clamping chains

| | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| Nominal diameter in mm | 100 | 400 | 650 | 650 | 1000 |
| Seal diameter in mm | 110 | 408 | 659 | 659 | 1010 |
| Flange outer diameter mm | 134 | 438 | 700 | 700 | 1050 |
| Number of rollers | 8 | 24 | 26 | 24 | 36 |
| Roller diameter mm | 34 | 40 | 40 | 50 | 50 |
| Clamping rod diameter mm | 10 | 10 | 10 | 16 | 16 |
| Sealing force kp/mm | 37.6 | 10.1 | 6.3 | 16.7 | 10.9 |
| Tension force of chain kp | 3200 | 3200 | 3200 | 8500 | 8500 |
| Torque in m kp | 5 | 5 | 5 | 12.8 | 12.8 |

3.2 Leak tests with Heating and Cooling

Under the operating conditions in ZEPHYR two types of thermal stress are to be expected.

On the one hand, the entire vacuum apparatus will be baked in approx. 150°C at the beginning and, on the other, the torus will be cooled to the temperature of liquid nitrogen during the operating phase. Particularly in the latter case, appreciable temperature gradients over the flange connection can be expected. The highly differing thermal conduction of the materials used leads to time shifts of the variation in length of the various components and to variations in the tension force. It is intended, and has already been tested in an experiment, to insert plate spring packs in the clamping link in order to counteract such variations of the tension force. Hysteresis due to friction persists in the entire arrangement.

The heating test to 150°C was performed with the largest flange connection NW 650 available at present. In the heating and cooling cycle ($150^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$) the connection always remained tight, the leak rate being smaller than 10^{-10} mb l/s.

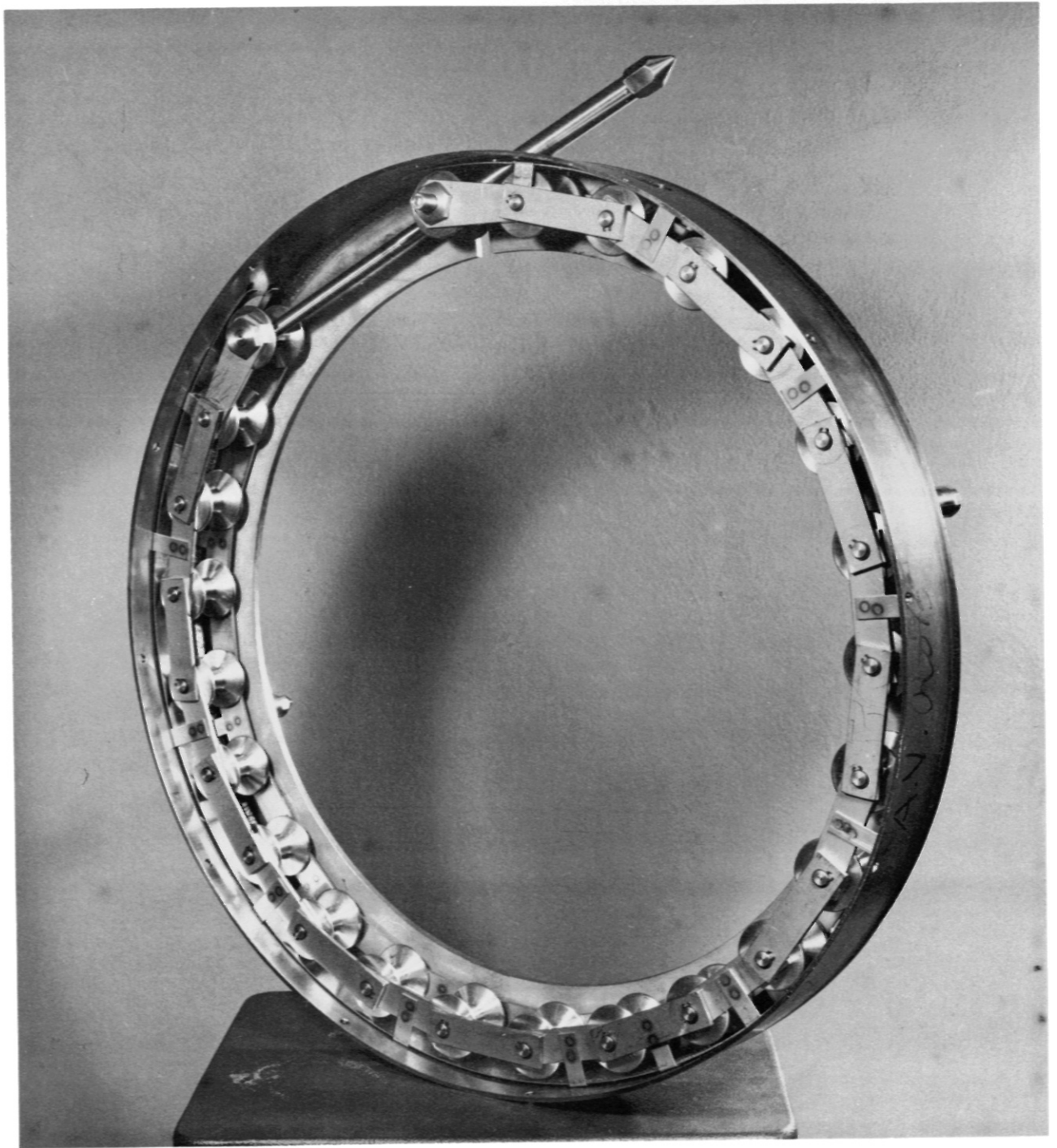
With one-sided cooling to approx. 80°K with liquid N_2 the torque applied was reduced from 5 m kp to 4.5 m kp in the cooling phase and further to 3.6 m kp with subsequent heating to room temperature. The connection remained tight, however, solely as a result of atmospheric pressure (3300 kp), i.e. with the clamping chain open.

The same test was also performed with NW 100, where the force due to external overpressure can practically be neglected. Here an originally applied torque of 2 m kp was reduced to 1.2 m kp at the lowest temperature and further to 0.65 m kp with heating to room temperature. No leaks were detected here either.

Conclusion

The flange connection described proved suitable for remotely handled vacuum connections, but practical handling cannot be fully tested till installation of the remote handling facilities at IPP. A coaxial double gasket, with aluminium on the inside and vitilan on the outside, is recommended for application in apparatus with tritium inventory.

A patent for the vacuum flange connection was applied for on 9th July 1980 under No. P 30 26 060.7.



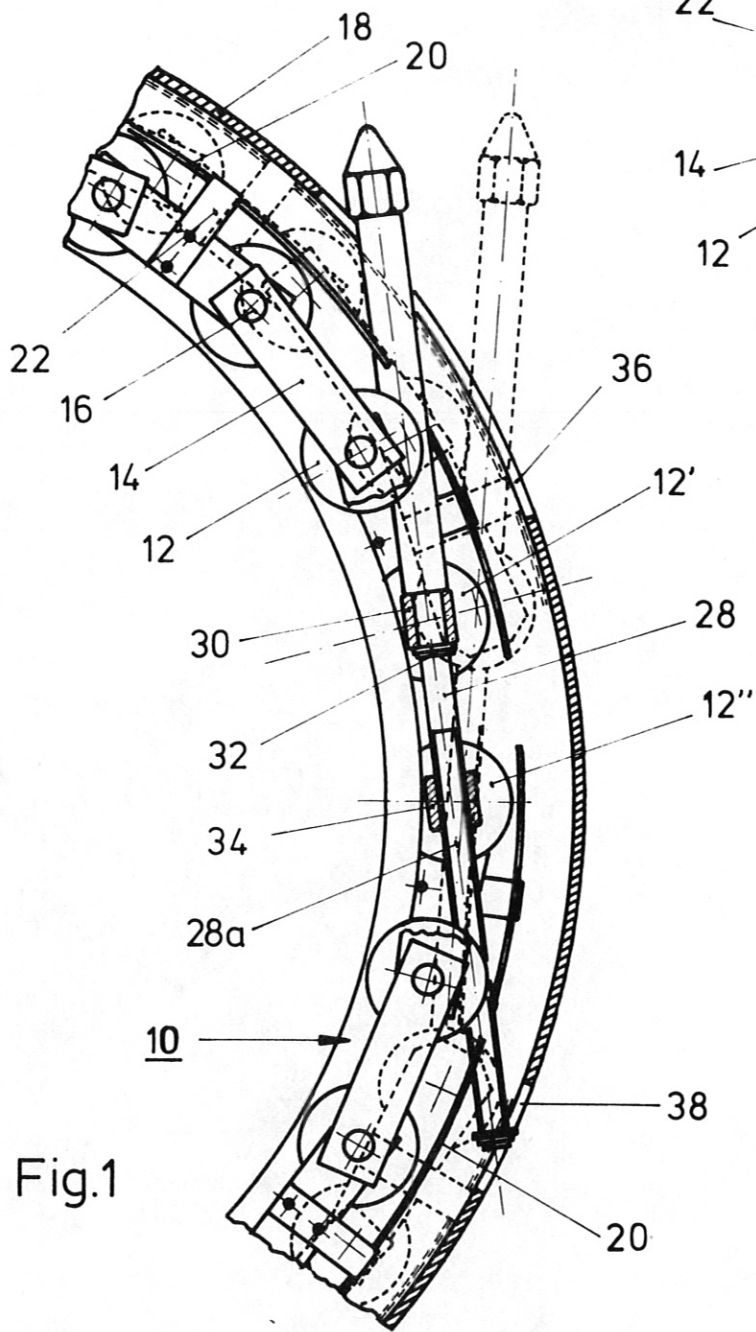


Fig. 1

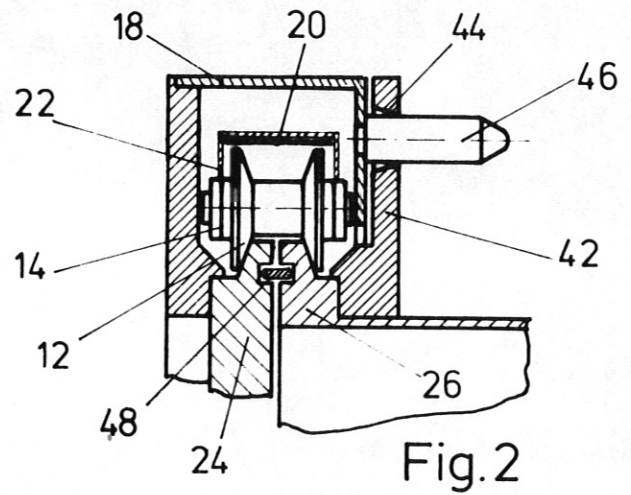


Fig. 2

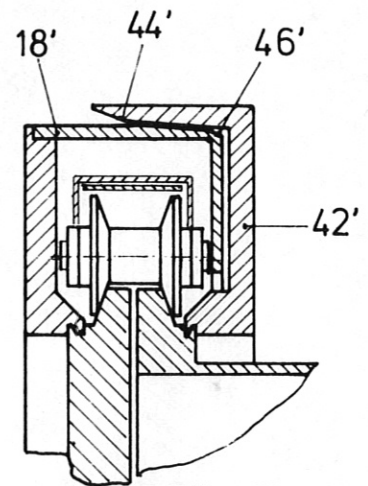


Fig. 5

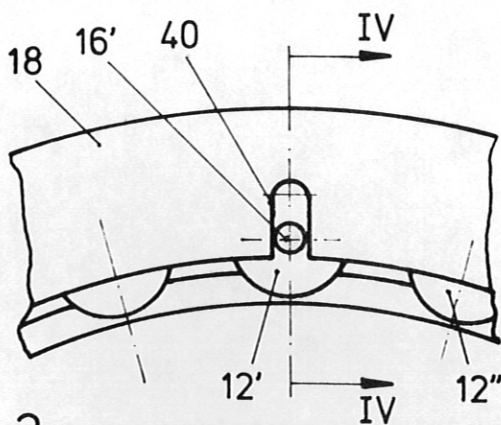


Fig. 3

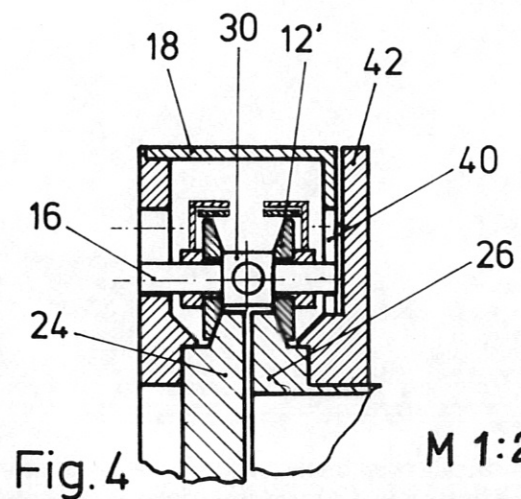


Fig. 4

M 1:2,5